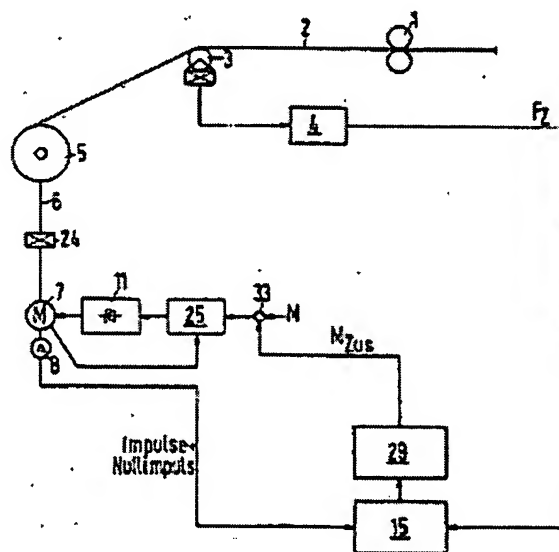


# Automatic compensation of out of round roller rotation, esp. for winding webs of paper or plastics film

**Patent number:** DE19614300  
**Publication date:** 1996-10-24  
**Inventor:** SCHNEIDER MANFRED DIPL ING (DE)  
**Applicant:** ABB PATENT GMBH (DE)  
**Classification:**  
 - international: B65H26/08; B65H23/185; B65H23/198; B65H77/00; B41F13/00; D21F7/00; G01M1/30; B65H18/26; B65H16/10; B21D51/00  
 - european: B21C47/00B, B65H23/185, B65H23/195  
**Application number:** DE19961014300 19960411  
**Priority number(s):** DE19961014300 19960411; DE19951014773 19950421

## Abstract of DE19614300

For the self-compensation of the effect of an irregular roller rotation, an approximation is made of the roller actual measured value with at least one rotary harmonic sine function, where their conflict is the roller rotary angle. The sine approximation is by orthogonal correlation of harmonic Fourier analysis through equations (I) and (II), where  $\phi_{iy}$  = the cross correlation between input  $u$  and output  $y$  values;  $u = \sin(i \cdot \alpha_0)$ ;  $y = F_z(i \cdot \alpha_0)$ ;  $i$  = running index;  $\alpha_0$  = angle step width;  $N$  = number of measured values for a whole number of rotations; and  $F_z$  the measured actual value. The estimated values for amplitude and phase acting on the sine signal through the irregular rotation is through value given by equations (III) and (IV), where  $A_{ib}$  = estimated value for the amplitude of the irregular rotation acting on the sine signal of the first order; and  $\phi_{ib}$  = estimated value for the phase on the sine signal of the first order through the irregular rotation. An additional setting value ( $M_{zus}$ ) from these estimated values is proportional to  $-A_{ib} \cdot \sin(\alpha + \phi_{ib})$  with  $\alpha$  = roller rotary angle; and  $\alpha = 0$  on receipt of a zero pulse. Pref. for a second compensation stage, a further sine approximation is made by an orthogonal correlation or a harmonic Fourier analysis for the amplitude and phase through irregular rotation and the additional setting value acting on the sine signal, to give estimated amplitude and phase values. The estimated values with the additional setting value give the guide-transfer function between the additional setting value and the actual measured value at the discrete frequency points of the matching order. For a third compensation stage, an estimated value for the amplitude is taken as a criterium and the phase and amplitude of the additional setting value is altered in steps until the criterium is at a min. For a fourth compensation stage, the actual measured value is passed through a high pass filter with its output signal is squared and taken as the criterium for the phase and amplitude of the additional setting value to be adjusted in steps until the criterium is at a min.





DEUTSCHES  
PATENTAMT

# Offenlegungsschrift

10 DE 196 14 300 A 1

51 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**B 65 H 26/08**  
B 65 H 23/185  
B 65 H 23/198  
B 65 H 77/00  
B 41 F 13/00  
D 21 F 7/00  
G 01 M 1/30  
// B 65 H 18/26, 16/10,  
B 21 D 51/00

21 Aktenzeichen: 196 14 300.4  
22 Anmeldetag: 11. 4. 96  
43 Offenlegungstag: 24. 10. 96

DE 196 14 300 A 1

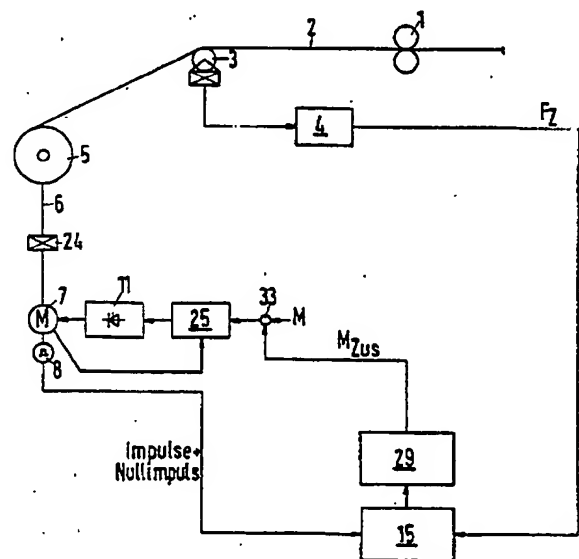
30 Innere Priorität: 32 33 31  
21.04.95 DE 195147731

71 Anmelder:  
ABB Patent GmbH, 68309 Mannheim, DE

72 Erfinder:  
Schneider, Manfred, Dipl.-Ing., 68526 Ladenburg, DE

54 Verfahren zur selbstregulierenden Kompensation der Auswirkung des ungleichmäßigen Rundlaufs einer Rolle

57 Es wird ein Verfahren zur selbstregulierenden Kompensation der Auswirkung des ungleichmäßigen Rundlaufs einer Rolle durch Approximation des Zugistwertes mit mindestens einer drehharmonischen Sinusfunktion vorgeschlagen, deren Argument der Rollendrehwinkel ist, wobei die Sinusapproximation nach der orthogonalen Korrelation oder gemäß der harmonischen Analyse nach Fourier erfolgt und Schätzwerte für die Amplitude und die Phase des durch den ungleichmäßigen Rundlauf bewirkten Sinussignals gebildet werden. Aus diesen Schätzwerten wird ein Zusatzmoment gebildet. Der Momentsollwert für die Rolle wird mit diesem Zusatzmoment beaufschlagt. Neben der drehharmonischen Sinusfunktion erster Ordnung kann mindestens eine weitere drehharmonische Sinusfunktion zweiter oder höherer Ordnung berücksichtigt werden.



DE 196 14 300 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur selbstregulierenden Kompensation der Auswirkung des ungleichmäßigen Rundlaufs einer Rolle.

Beim Aufwickeln von Metallband, Papierband oder auch einer Kunststoffolie (allgemein von Stoffbahnen) kann es aus verschiedenen Gründen zu ungleichmäßigem Rundlauf der Rolle (Haspel) kommen. Beispielsweise ergibt sich beim Aufwickeln von Metallband ein Bundschlag aufgrund des den Bundradius abschnittsweise erhöhenden Bandanfanges. Dieser Bundschlag tritt in charakteristischer Form bei jeder Haspelumdrehung mindestens einmal auf. Beim Aufwickeln von dünnem Papierband ist der durch den Papierbandanfang verursachte Bundschlag im Normalfall nicht erheblich, es kann sich jedoch im Verlauf des Aufwickelvorganges eine im Querschnitt ovale Form des Bundes ergeben, die pro Umdrehung der Haspel zwei charakteristische Erhöhungen des Haspelradius aufweist.

Derartige Bundunrundheiten einer Haspel führen in nachteiliger Weise zu Zugistwertschwankungen des für den Prozeß wichtigen Zuges, was beispielsweise zum Zerreißen eines Papierbandes oder einer Kunststoffolie oder bei einem Metallband zu nachteiligen Beeinflussungen der Banddicke führen kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur selbstregulierenden Kompensation der Auswirkung des ungleichmäßigen Rundlaufs einer Rolle anzugeben, das selbsttätig möglichst rasch ungleichmäßigen Rundlauf der Rolle erkennt und die Auswirkung kompensiert.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Die mit der Erfindung erzielbaren Vorteile bestehen insbesondere darin, daß das Verfahren durch Beaufschlagung von geeigneten Zusatzstellgrößen, z. B. von Zusatzmomenten rasch eine selbstregulierende Kompensation des ungleichmäßigen Rundlaufs einer Rolle bewirkt, wodurch der für den Prozeß wichtige Meßistwert, z. B. Zugistwert vergleichmäßig wird, wobei die in einer ersten Kompensationsstufe erzielbare Genauigkeit bereits ausreichend ist. In weiteren jeweils aufeinander aufbauenden höheren Kompensationsstufen wird die Genauigkeit der Kompensation weiter verbessert, d. h. der Rundlauf und damit auch der Meßistwert werden weiter vergleichmäßig. Dabei wird die in der vorhergehenden Kompensationsstufe eingestellte Zusatzstellgröße jeweils als Ausgangsgröße bei der Ermittlung bezüglich Amplitude und Phase genauerer Zusatzstellgrößen herangezogen. Vorteilhaft haben Rauschanteile des Meßistwertes, deren Ursprung nicht durch ungleichmäßigen Rundlauf bedingt sind, keinen störenden Einfluß bei der selbstregulierenden Kompensation. Das vorgeschlagene Verfahren ist für Auf- und Abwickelprozesse geeignet und berücksichtigt selbsttätig die laufende Vergrößerung bzw. Verkleinerung des Rollenradiuswertes während des Aufwickelvorganges bzw. Abwickelvorganges von Stoffbahnen bei einer Haspel, einem Wickler oder einem Kalandr. Ferner ist das vorgeschlagene Verfahren universell bei allen Fällen einsetzbar, bei denen ein ungleichmäßiger Rundlauf einer Rolle vorliegt. Es ist vorteilhaft nicht notwendig, die Winkellage der Störung zu kennen.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Haspelanlage,

Fig. 2 einen Ausschnitt einer Klemmschlitzhaspel,

Fig. 3 die angewandte Strategie der mehrstufigen Kompensation,

Fig. 4 den Zusammenhang zwischen Zusatzmoment, Führungs-Übertragungsfunktion und Zugistwert,

Fig. 5 eine qualitative Darstellung der realen Gütefunktion in einer Koordinatenrichtung,

Fig. 6 "Höhenlinien" jeweils gleicher Amplitude des durch Bundschlag und Zusatzmoment bewirkten Summensignals,

Fig. 7 eine qualitative Darstellung der realen Gütefunktion,

Fig. 8 eine Übersicht zum Funktionsablauf der dritten Kompensationsstufe,

Fig. 9 eine Übersicht zum Funktionsablauf der vierten Kompensationsstufe,

Fig. 10, 11 die Einbindung der selbstregulierenden Kompensation in eine Zugregelung bzw. Zugsteuerung der Haspelanlage.

In Fig. 1 ist eine Haspelanlage gezeigt, wie sie beispielsweise zum Aufhaspeln eines aus einem Walzgerüst 1 austretenden Bandes 2 bzw. zum Abwickeln eines in das Walzgerüst 1 eintretenden Bandes geeignet ist. Das Band 2 wird über eine Umlenkeinrichtung 3 zu einer Haspel 5 (allgemein einer Rolle) geführt, wobei eine Zugistwerterfassungseinrichtung 4 den aktuellen Zugistwert (allgemein Meßistwert)  $F_z$  erfaßt. Die Haspel wird über eine Haspelwelle 6 von einem Antriebsmotor 7 angetrieben. Eine Drehwinkel/Drehzahl-Erfassungseinrichtung 8 dient zur Ermittlung der aktuellen Lage der Haspel und des aktuellen Drehzahlwertes des Antriebsmotors 7 mittels Impulzzählung (falls statt des Haspelschlags die Unrundheit einer Rolle kompensiert wird, muß entsprechend die Winkellage der Rolle erfaßt werden). Nullimpulse dieser Drehwinkel/Drehzahl-Erfassungseinrichtung 8 dienen als Bezugsgröße bei der Ermittlung der Haspellage bzw. des aktuellen Haspeldrehwinkels  $\alpha$  (allgemein des Rollendrehwinkels). Zur Ermittlung des aktuellen Bundradiuswertes  $r$  (allgemein des Rollenradiuswertes) der Haspel dient eine standardmäßig bereits vorhandene Radiuserefassungseinrichtung 9.

In Fig. 2 ist ein Ausschnitt einer Klemmschlitzhaspel gezeigt. Es ist zu erkennen, daß der Bandanfang 10 des Bandes 2 in einen Klemmschlitz der Haspel 5 eingreift, was eine Befestigung des Bandes auf der Haspel bewirkt. Hierdurch ergibt sich jedoch ein ungleichmäßiger Rollen-Rundlauf, denn der Bundradiuswert  $r$  wird in der Nähe des Bandanfanges 10 erhöht. Diese Radiuserehöhung führt zu einem Bundschlag und hat Auswirkungen auf den Zugistwert  $F_z$ . Es ergeben sich "Nadelspitzen" im Zugistwert, die möglichst gut kompensiert werden müssen, denn ein ungleichmäßiger Zugistwert wirkt nachteilig auf den im Walzgerüst ablaufenden Walzprozeß, insbesondere führt ein ungleichmäßiger Zugistwert zu ungleichmäßigen Banddicken am Ausgang des Walzgerüsts 1.

In ähnlicher Weise führen auch der Einsatz von Hülisen oder während des Walzprozesses vorgegebene Banddickenänderungen zu einem Bundschlag.

Allgemein betrachtet stellt es bei Einsatz von Klemmschlitzhaspeln einen Vorteil dar, daß die Lage des Wulstes in etwa bekannt ist. Der sich während des Wickelprozesses einstellende Amplitudenverlauf ist jedoch abhängig vom Bunddurchmesser, von der Banddicke und von der Biegesteifigkeit des zu wickelnden Materials. Bei anderen Haspelkonstruktionen, beispielsweise bei Einsatz von Hülsten und bei Rollen allgemein ist außer der Amplitude auch die Lage der Störung zunächst unbekannt. Ein ungleichmäßiger Rundlauf ergibt sich beispielsweise auch bei exzentrischer Lagerung einer Rolle oder bei ovaler Bundform. 5

Nachfolgend werden die Maßnahmen zur Kompensation eines ungleichmäßigen Rollen-Rundlaufes, beispielsweise eines Bundschlags im einzelnen beschrieben. Fig. 3 zeigt prinzipiell die angewandte Strategie der mehrstufigen Kompensation. Auf der Abszissenachse sind die einzelnen Kompensationsstufen 1, 2, 3, 4 und auf der Ordinatenachse die mit der einzelnen Kompensationsstufe erzielbare Genauigkeit und der hierzu erforderliche Zeitbedarf qualitativ angegeben. 10

Sobald die ersten Erkenntnisse einer Zugistwertanalyse (allgemein Meßistwertanalyse) gemäß der orthogonalen Korrelation oder der harmonischen Analyse nach Fourier vorliegen, wird mit der ersten Stufe der Kompensation begonnen, wodurch eine ausreichende erste Verbesserung erreicht wird. Mit den weiteren Kompensationsstufen ergibt sich eine zunehmende Genauigkeit der Kompensation, jedoch auch gleichzeitig ein zunehmender Zeitbedarf für die Ermittlung und Durchführung weiterer Kompensationsmaßnahmen. Die bei einer Kompensationsstufe gewonnenen Ergebnisse bezüglich der aufzubringenden Zusatzmomente (allgemein Zusatzstellgrößen) bilden stets die Grundlage für die höhere Kompensationsstufe. 15

Nachfolgend wird zunächst die Zugistwertanalyse beschrieben. Sie bildet die Grundlage für die Kompensationsstufen 1, 2 und 3. Ihr Zweck ist eine Approximation des Zugistwertes (allgemein Meßistwertes) mit drehharmonischen Sinusfunktionen, d. h. Sinusfunktionen, deren Argumente der Haspeldrehwinkel  $\alpha$  bzw. ganzzahlige Vielfache  $2\alpha$ ,  $3\alpha$  usw. davon sind. Die erste Ordnung entspricht somit dem  $\sin\alpha$ , die zweite Ordnung dem  $\sin 2\alpha$  und die dritte Ordnung dem  $\sin 3\alpha$  usw. 20

Die Sinusapproximation erfolgt beispielsweise unter Verwendung des Verfahrens der orthogonalen Korrelation, wie es beispielsweise in R. Isermann, Identifikation dynamischer Systeme, 2. Auflage, 1992, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Seite 124 bis 135 beschrieben ist. Die Zeitfunktion wird dabei jedoch durch eine Funktion über dem Drehwinkel ersetzt. Der Nullimpuls einer periodischen Störung verursachenden Rolle entspricht dem Winkelwert Null. Anstelle der Identifikation eines dynamischen Systems an einer diskreten Stelle (Frequenz) werden die periodischen Anteile (Sinusfunktionen) mit Amplitude und Phase des mit der periodischen Störung behafteten Signals geschätzt. Die kontinuierliche Betrachtungsweise (Integrale) wird durch eine diskrete Betrachtungsweise ersetzt, um eine on-line-Verarbeitung zu ermöglichen. 25 30

Bei der Sinusapproximation wird im wesentlichen die Summe über die Produkte aus dem Zugistwert und dem Sinus bzw. dem Cosinus als Funktion des Haspeldrehwinkels  $\alpha$  (bzw. einem Vielfachen dieses Winkels) gebildet. Für die erste Ordnung ergibt sich 35

$$\phi_{uy}(0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_Z(i \cdot \alpha_0) \cdot \sin(i \cdot \alpha_0)$$

40

$$\phi_{uy}\left(\frac{\pi}{2}\right) = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_Z(i \cdot \alpha_0) \cdot \cos(i \cdot \alpha_0)$$

45

wobei

$\Phi_{u,y}$  = Kreuzkorrelation zwischen Eingangsgröße  $u$  und Ausgangsgröße  $y$ ,

$N$  = Anzahl der Meßwerte für eine ganzzahlige Anzahl an Umdrehungen der Haspel, d. h. es muß gelten  $N \cdot \alpha_0 = K \cdot 2 \cdot \pi$ , 50

$F_Z$  = Zugistwert, allgemein Meßistwert,

$K$  = Ordnung, d. h.  $K = 1$  entspricht der ersten Ordnung,

$K = 2$  entspricht der zweiten Ordnung,

$K = 3$  entspricht der dritten Ordnung usw.

$\alpha_0$  = Winkelschrittweite, beispielsweise  $\alpha_0 = 12^\circ$ , 55

$1$  = Laufindex.

Der erste Meßwert wird nach dem auf die Haspelseite bezogenen Nullimpuls erfaßt. Entsprechend wird der letzte Meßwert ebenfalls nach einem Nullimpuls erfaßt. Mit 60

65

$$\operatorname{Re}\left[G(j\omega_0)\right] = 2\phi_{uy}(0)$$

5

$$\operatorname{Im}\left[G(j\omega_0)\right] = 2\phi_{uy}\left(\frac{\pi}{2}\right)$$

10

können der Schätzwert  $\hat{A}_1$  für die Amplitude des Sinus erster Ordnung und der Schätzwert  $\hat{\phi}_1$  für die Phase des Sinus erster Ordnung bestimmt werden (im folgenden wird statt der geschätzten Phase  $\phi'_1$  die negative Größe  $\hat{\phi}_1 = -\phi'_1$  verwendet:

15

$$\hat{A}_1 = \sqrt{\operatorname{Re}^2 + \operatorname{Im}^2}$$

20

$$\phi'_1 = -\hat{\phi}_1 = \arctan (\operatorname{Im} / \operatorname{Re})$$

wobei

25

$\operatorname{Re}\left[G(j\omega_0)\right]$  = Realteil der "Übertragungsfunktion" und

30

$\operatorname{Im}\left[G(j\omega_0)\right]$  = Imaginärteil der "Übertragungsfunktion".

35 Zur Approximation des Zugistwertes mit Sinusfunktionen höherer Ordnung wird in den vorstehenden Formeln anstelle des Argumentes  $i \cdot \alpha$  das Argument  $K \cdot i \cdot \alpha$  eingesetzt. Demgemäß werden der Schätzwert  $\hat{A}_2$  für die Amplitude des Sinus zweiter Ordnung, der Schätzwert  $\hat{\phi}_2$  für die Phase des Sinus zweiter Ordnung und gegebenenfalls die Schätzwerte für die Amplituden und Phasen weiterer höherer Ordnungen bestimmt.

Die vorstehend beschriebene Zugistwertanalyse nach der orthogonalen Korrelation oder gemäß der harmonischen Analyse (Fourier) wird in den verschiedenen Stufen 1, 2, 3 der Bundschlagkompensation eingesetzt, und zwar bei Stufe 1 bei alleiniger Einwirkung des Bundschlags (abgesehen von sonstigen nichtperiodischen Störgrößen), bei Stufe 2 bei gleichzeitiger Einwirkung des Bundschlags und des Zusatzmoments und bei Stufe 3 zur Ermittlung des Gütekriteriums.

Wie vorstehend ausgeführt, ergibt sich aus der Zugistwertanalyse bei alleiniger Einwirkung des Bundschlags (Kompensationsstufe 1) ein Summensignal

45

$$\hat{A}_{1B} \cdot \sin(\alpha + \hat{\phi}_{1B}) + \hat{A}_{2B} \cdot \sin(2\alpha + \hat{\phi}_{2B})$$

50

drehharmonischer Sinusfunktionen (die Darstellung wird für zwei Ordnungen  $K=1$  und  $K=2$  durchgeführt, für die höheren Ordnungen gilt analoges), die ihre Ursache im Bundschlag haben, wobei der Index B die alleinige Einwirkung des Bundschlags kennzeichnet. Für die Bundschlagkompensation der ersten Stufe wird hieraus ein Zusatzmoment  $M_{Zus}$  bestimmt, um den durch die alleinige Einwirkung des Bundschlages bewirkten ungleichmäßigen Rundlauf bzw. die hierdurch auftretenden Zugistwertschwankungen zu reduzieren. Für das Zusatzmoment (allgemein die Zusatzstellgröße) gemäß erster Kompensationsstufe ergibt sich

55

$$M_{Zus} = -\hat{A}_{1B} \cdot r \cdot \sin(\alpha + \hat{\phi}_{1B}) - \hat{A}_{2B} \cdot r \cdot \sin(2\alpha + \hat{\phi}_{2B})$$

60

wobei  $r$  = Bundradiusistwert bzw. allgemein Rollenradiusistwert.

Erfolgt der Antrieb der Haspel über ein Getriebe, so ist bei der Zusatzmomentbildung das Getriebeübersetzungsverhältnis zu berücksichtigen. In den Fig. 10 und 11 ist angedeutet, wie dieses Zusatzmoment auf die Haspelanlage einwirken kann.

65

Wenn das Zusatzmoment mit Hilfe des aus einem Rechenmodell abgeleiteten Frequenzganges zwischen Zug und Haspelmoment (allgemein Rollenmoment) entsprechend der bei der aktuellen Drehzahl vorliegenden Frequenz bei der ersten, zweiten usw. Ordnung bezüglich Betrag und Phase kompensiert wird, ergibt sich

$$M_{\text{Zus}} = -\hat{A}_{1B} \cdot \frac{1}{|G_1|} \cdot r \cdot \sin(\alpha + \hat{\varphi}_{1B} - \hat{\varphi}_1) - \hat{A}_{2B} \cdot \frac{1}{|G_2|} \cdot r \cdot \sin(2\alpha + \hat{\varphi}_{2B} - \hat{\varphi}_2) \dots$$

5

wobei

$|G_1|, |G_2|$  = Betrag des Frequenzganges gemäß Rechenmodell für 1., 2. Ordnung,

$\varphi_1, \varphi_2$  = Phase des Frequenzganges gemäß Rechenmodell für 1., 2. Ordnung.

Im weiteren wird der einfache Fall ohne Hinzuziehung eines Rechenmodells beschrieben.

10

Das Zusatzmoment wird derart vorgegeben, daß sich keine nennenswerten Einschwingvorgänge ergeben. Dies kann erreicht werden durch Beaufschlagung des Zusatzmoments im Augenblick des Nulldurchtritts des Zusatzmomenten-Signals und/oder durch kontinuierliches Ansteigen der Amplituden vom Wert Null auf den Wert  $\hat{A}_{1B}$ ,  $\hat{A}_{2B}$  und kontinuierliches Ansteigen der Phasen bis zum einzustellenden Wert.

Nachdem die vorstehend beschriebene erste Kompensationsstufe auf die Haspelanlage einwirkt und das System eingeschwungen ist, erfolgt für die weitere Bundschlagkompensation eine zweite Zugistwertanalyse. Die nicht vollständige Kompensation nach Stufe 1 hat ihre Ursachen in Schätzfehlern bezüglich der Amplituden und Phasen sowie in der Tatsache, daß zwischen Zugistwert und Moment des Antriebsmotors nicht über alle Frequenzen ein proportionales Verhalten vorliegt oder mit anderen Worten, daß der Frequenzgang zwischen Zugistwert und Zusatzmoment noch nicht genügend berücksichtigt ist.

20

Die zweite Zugistwertanalyse führt zum Summensignal

$$\hat{A}_{1S} \cdot \sin(\alpha + \hat{\varphi}_{1S}) + \hat{A}_{2S} \cdot \sin(2\alpha + \hat{\varphi}_{2S})$$

25

drehharmonischer Sinusfunktionen, die ihre Ursache im Bundschlag und in der Beaufschlagung der Haspelanlage mit dem Zusatzmoment haben, wobei der Index S die Summeneinwirkung von Bundschlag und Zusatzmoment kennzeichnet. Aus den aus der zweiten Zugistwertanalyse ermittelten Schätzwerten für Amplituden und Phasen der verschiedenen Ordnungen  $\hat{A}_{1S}, \hat{\varphi}_{1S}, \hat{A}_{2S}, \hat{\varphi}_{2S} \dots$ , und den aus der ersten Zugistwertanalyse ermittelten Schätzwerten  $\hat{A}_{1B}, \hat{\varphi}_{1B}, \hat{A}_{2B}, \hat{\varphi}_{2B}$  lassen sich die Schätzwerte  $\hat{A}_{1M}$  bzw.  $\hat{A}_{2M}$  für die Amplituden des Sinus erster bzw. zweiter Ordnung sowie die Schätzwerte  $\hat{\varphi}_{1M}$  bzw.  $\hat{\varphi}_{2M}$  für die Phasen des Sinus erster bzw. zweiter Ordnung (sowie analog weiterer höherer Ordnungen) ermitteln, welche ihre Ursachen im Beaufschlagen mit dem Zusatzmoment haben. Bei Anwendung trigonometrischer Funktionen gilt für die erste Ordnung

35

$$\hat{A}_{1M} \cdot \sin(\alpha + \hat{\varphi}_{1M}) = \hat{A}_{1S} \cdot \sin(\alpha + \hat{\varphi}_{1S}) - \hat{A}_{1B} \cdot \sin(\alpha + \hat{\varphi}_{1B})$$

oder

40

$$\hat{A}_{1M} = \sqrt{\hat{A}_{1S}^2 + \hat{A}_{1B}^2 - 2\hat{A}_{1S} \cdot \hat{A}_{1B} \cdot \cos(\hat{\varphi}_{1S} - \hat{\varphi}_{1B})}$$

und

45

$$\tan \hat{\varphi}_{1M} = \frac{\hat{A}_{1S} \cdot \sin \hat{\varphi}_{1S} - \hat{A}_{1B} \cdot \sin \hat{\varphi}_{1B}}{\hat{A}_{1S} \cdot \cos \hat{\varphi}_{1S} - \hat{A}_{1B} \cdot \cos \hat{\varphi}_{1B}}$$

50

Für die zweite Ordnung gilt dementsprechend

$$\hat{A}_{2M} \cdot \sin(2\alpha + \hat{\varphi}_{2M}) = \hat{A}_{2S} \cdot \sin(2\alpha + \hat{\varphi}_{2S}) - \hat{A}_{2B} \cdot \sin(2\alpha + \hat{\varphi}_{2B})$$

55

oder

60

$$\hat{A}_{2M} = \sqrt{\hat{A}_{2S}^2 + \hat{A}_{2B}^2 - 2\hat{A}_{2S} \cdot \hat{A}_{2B} \cdot \cos(\hat{\varphi}_{2S} - \hat{\varphi}_{2B})}$$

und

65

$$\tan \hat{\varphi}_{2M} = \frac{\hat{A}_{2S} \cdot \sin \hat{\varphi}_{2S} - \hat{A}_{2B} \cdot \sin \hat{\varphi}_{2B}}{\hat{A}_{2S} \cdot \cos \hat{\varphi}_{2S} - \hat{A}_{2B} \cdot \cos \hat{\varphi}_{2B}} .$$

5

Die Schätzwerte  $\hat{A}_{1M}$ ,  $\hat{\varphi}_{1M}$ ,  $\hat{A}_{2M}$ ,  $\hat{\varphi}_{2M}$  ... können neben der Anwendung trigonometrischer Funktionen alternativ auch bestimmt werden, indem die Gleichung

$$\hat{A}_{1M} \cdot \sin(\alpha + \hat{\varphi}_{1M}) = \hat{A}_{1S} \cdot \sin(\alpha + \hat{\varphi}_{1S}) - \hat{A}_{1B} \cdot \sin(\alpha + \hat{\varphi}_{1B})$$

zunächst für diskrete Stellen berechnet wird und anschließend die Phase  $\hat{\varphi}_{1M}$  durch Bestimmung des Nulldurchtritts und die Amplitude  $\hat{A}_{1M}$  durch Bestimmung des Maximums ermittelt werden. Die Berechnung von Amplituden und Phasen der höheren Ordnungen ist dementsprechend.

Die dritte alternative Möglichkeit zur Bestimmung von  $\hat{A}_{1M}$ ,  $\hat{\varphi}_{1M}$ ,  $\hat{A}_{2M}$ ,  $\hat{\varphi}_{2M}$  ... besteht in der Anwendung der orthogonalen Korrelation auf das rechnerisch ermittelte Differenzsignal

$$\hat{A}_{1M} \cdot \sin(\alpha + \hat{\varphi}_{1M}) = \hat{A}_{1S} \cdot \sin(\alpha + \hat{\varphi}_{1S}) - \hat{A}_{1B} \cdot \sin(\alpha + \hat{\varphi}_{1B})$$

$$\hat{A}_{2M} \cdot \sin(2\alpha + \hat{\varphi}_{2M}) = \hat{A}_{2S} \cdot \sin(2\alpha + \hat{\varphi}_{2S}) - \hat{A}_{2B} \cdot \sin(2\alpha + \hat{\varphi}_{2B})$$

Die vorstehend beschriebene Ermittlung des aufgrund der Einwirkung des Zusatzmomentes resultierenden Anteils im Zugistwert ist möglich, da sich der Zugistwert bei Einwirkung eines Zusatzmomentes aus einem bundschlagbedingten Anteil, einem zusatzmomentbedingten Anteil und einem durch alle übrigen Störgrößen bedingten Anteil zusammensetzt, wie bereits erwähnt. Der durch alle übrigen Störgrößen bedingte Anteil ist ein Rauschanteil, der durch die Sinusapproximation weitgehend wegfällt. Im Ergebnis entspricht der aufgrund der Einwirkung des Zusatzmomentes resultierende Anteil damit der Differenz aus dem Zugistwert und dem bundschlagbedingten Anteil.

Mit den ermittelten Schätzwerten  $\hat{A}_{1M}$ ,  $\hat{\varphi}_{1M}$ ,  $\hat{A}_{2M}$ ,  $\hat{\varphi}_{2M}$  läßt sich die Führungs-Übertragungsfunktion  $G_M$  zwischen Zugistwert  $F_z$  (Ausgangsgröße) und Zusatzmoment  $M_{Zus}$  (Eingangsgröße) an diskreten Stellen ermitteln. In Fig. 4 ist der Zusammenhang zwischen Zusatzmoment  $M_{Zus}$ , Führungs-Übertragungsfunktion  $G_M$  und Zugistwert  $F_z$  dargestellt.

Einsetzbar ist auch die Anwendung eines Identifikationsverfahrens, um die Übertragungsfunktion Bandzug zu Motormoment zu ermitteln.

Für die erste Ordnung ergibt sich für den Betrag der Führungs-Übertragungsfunktion

$$|G_{1M}| = \frac{\hat{A}_{1M}}{\hat{M}_{Zus1}} = \frac{\hat{A}_{1M}}{r \cdot \hat{A}_{1B}}$$

und für die Phase der Führungs-Übertragungsfunktion

50

$$\angle G_{1M} = \hat{\varphi}_{1M} - \hat{\varphi}_{1B} + \pi .$$

Für die zweite Ordnung ergibt sich für den Betrag der Führungs-Übertragungsfunktion

$$|G_{2M}| = \frac{\hat{A}_{2M}}{\hat{M}_{Zus2}} = \frac{\hat{A}_{2M}}{r \cdot \hat{A}_{2B}} .$$

und für die Phase der Führungs-Übertragungsfunktion

$$\angle G_{2M} = \hat{\varphi}_{2M} - \hat{\varphi}_{2B} + \pi .$$

Für die vorstehenden Berechnungen gilt

$$M_{Zus} = -\hat{M}_{Zus1} \cdot \sin(\alpha + \hat{\varphi}_{1B}) - \hat{M}_{Zus2} \cdot \sin(2\alpha + \hat{\varphi}_{2B}) \quad 5$$

wobei  $\hat{M}_{Zus1}$ ,  $\hat{M}_{Zus2}$  die Amplituden des Sinus erster und zweiter Ordnung sind (= Amplituden des Kompensationssinus).

Zur Berechnung eines verbesserten Zusatzmomentes werden zwei Forderungen aufgestellt. Die erste Forderung lautet 10

$$|\hat{M}_{Zus1}| \cdot |G_{1M}| = \hat{A}_{1B} \quad 15$$

für die erste Ordnung,

$$|\hat{M}_{Zus2}| \cdot |G_{2M}| = \hat{A}_{2B} \quad 20$$

für die zweite Ordnung.

Hieraus ergeben sich die Beträge der Amplituden für das Zusatzmoment gemäß zweiter Kompensationsstufe (= Beträge der Amplituden des Kompensationssinus). 25

$$|\hat{M}_{Zus1}| = \frac{\hat{A}_{1B}}{|G_{1M}|} \quad 30$$

für die erste Ordnung,

$$|\hat{M}_{Zus2}| = \frac{\hat{A}_{2B}}{|G_{2M}|} \quad 40$$

für die zweite Ordnung.

Die zweite Forderung lautet:

$$\angle M_{Zus1} + \angle G_{1M} = \hat{\varphi}_{1B} + \pi \quad 45$$

für die erste Ordnung,

$$\angle M_{Zus2} + \angle G_{2M} = \hat{\varphi}_{2B} + \pi \quad 50$$

für die zweite Ordnung.

Hieraus ergeben sich die Phasen für das Zusatzmoment gemäß der zweiten Kompensationsstufe (= Phasen des Kompensationssinus) 55

$$\angle M_{Zus1} = 2\hat{\varphi}_{1B} - \hat{\varphi}_{1M} \quad 60$$

für die erste Ordnung und

65



$$< M_{Zus2} = 2\hat{\varphi}_{2B} - \hat{\varphi}_{2M}$$

5 für die zweite Ordnung.

Der Übergang vom Zusatzmoment gemäß erster Kompensationsstufe zum Zusatzmoment gemäß zweiter Kompensationsstufe mit der Vorgabe von  $|\hat{M}_{Zus1}|$ ,  $< M_{Zus1}$ ,  $\hat{M}_{Zus2}$ ,  $< \hat{M}_{Zus2}$  erfolgt gleitend.

Der nach Durchführung der ersten und zweiten Kompensationsstufe verbleibende Restfehler wird durch die nachfolgend beschriebene dritte Kompensationsstufe weiter reduziert. Zweck dieser dritten Kompensationsstufe ist die Minimierung der Amplituden des Sinus erster und zweiter Ordnung (= Gütekriterium) des durch die Zugistwertanalyse erhaltenen Summensignals  $\hat{A}_{1S}$ ,  $\hat{A}_{2S}$  (= Amplituden des resultierenden Summensignals). Mit anderen Worten sollen durch geeignete Wahl der Phasen- bzw. Amplitudenwerte des Kompensationssinus die im Zugistwert vom Bundschlag herrührenden Sinusanteile möglichst weitgehend kompensiert werden.

In Fig. 5 ist eine qualitative Darstellung der realen Gütefunktion in einer Koordinatenrichtung gezeigt und in Fig. 6 ist die Gütefunktion als Funktion der Phase und der Amplitude des kompensierenden Sinus dargestellt. Die Abszissenachse von Fig. 5 und die x-Achse von Fig. 6 kennzeichnen die Phase des Kompensationssinus. Die y-Achse von Fig. 6 kennzeichnet die Amplitude des Kompensationssinus (Schätzwerte). Die Ordinatenachse von Fig. 5 und die z-Achse von Fig. 6 kennzeichnen die Amplitude des resultierenden Summensignals (Schätzwerte) aus ursprünglichem Sinus + Kompensationssinus der betrachteten Ordnung (siehe  $\hat{A}_{1S}$ ,  $\hat{A}_{2S}$ ). Fig. 5 zeigt quasi einen Schnitt parallel zur Ebene, die durch die x- und z-Achse in Fig. 6 auf gespannt wird.

Sowohl bei Veränderung der Phase des Kompensationssinus als auch bei Veränderung der Amplitude des Kompensationssinus (bei jeweils feststehender anderer Größe) durchlaufen die Amplituden des resultierenden Summensignals  $\hat{A}_{1S}$ ,  $\hat{A}_{2S}$ ,  $\hat{A}_{3S}$  ein Minimum. In der Realität setzt sich der Zugistwert außer den vom Bundschlag und vom Kompensationsmoment herrührenden Sinusfunktionen auch aus weiteren, sich ständig ändernden Anteilen zusammen, welche durch andere Einflußgrößen, wie z. B. Einlaufdickenschwankungen bedingt sind. Dies hat zur Folge, daß sich die Schätzwerte für die Amplituden des resultierenden Summensignales  $\hat{A}_{1S}$  selbst bei konstant bleibenden Sinusfunktionen ständig ändern, d. h. die Gütekriteriumfunktion ist in der Realität wellig und mit vielen Nebenminima versehen, wie Fig. 5 zeigt. Es ergibt sich somit das Problem, trotz dieser Nebenminima möglichst rasch das Hauptminimum zu finden.

Als Lösungsmöglichkeit zur Ermittlung des Hauptminimums ergibt sich die Filterung der Schätzwerte für die Amplituden des resultierenden Summensignals  $\hat{A}_{1S}$ ,  $\hat{A}_{2S}$  bei festgehaltenen Korrekturwerten für die Phase und die Amplitude des Kompensationssinus. Je länger diese Filterung bei einzelnen Korrekturwerten erfolgt, desto mehr nähert sich die reale der idealen Gütefunktion. In Fig. 7 ist hierzu in Ergänzung zu Fig. 5 eine qualitative Darstellung der realen Gütefunktion gezeigt, wie sie sich als Summe von mehreren ungefilterten Verläufen ergibt. Die einzelnen ungefilterten Verläufe sind punktiert dargestellt, während der durchgezogene Kurvenzug als Summe von mehreren ungefilterten Verläufen entsteht.

Für eine optimale Bundschlagkompensation ist es von Bedeutung, daß das Minimum der Amplituden des resultierenden Summensignals so schnell wie möglich unter Vorgabe einer gewissen Genauigkeit gefunden wird. Die Einstellung der Optimierungsparameter hängt dabei unter anderen von der Streuung der Schätzwerte für die Amplituden  $\hat{A}_{1S}$ ,  $\hat{A}_{2S}$ ,  $\hat{A}_{3S}$  ab.

In Fig. 8 ist eine Übersicht zum Funktionsablauf der Kompensationsstufe 3 dargestellt. Die Haspelzugstrecke ist mit Ziffer 14 bezeichnet. Der Zugistwert  $F_z$  wird der Zugistwertanalyse 15 zugeführt. Diese bildet hieraus Schätzwerte für die Amplituden des resultierenden Summensignals erster bzw. zweiter Ordnung  $\hat{A}_{1S}$ ,  $\hat{A}_{2S}$ . Diese werden Funktionswechselgliedern 16a bzw. 16b sowie Schaltern 20a bzw. 20b zugeleitet. Die Schalter 20a bzw. 20b leiten die Amplituden  $\hat{A}_{1S}$  bzw.  $\hat{A}_{2S}$  in einer ersten Schaltstellung zu Phasenkorrekturgliedern 18a bzw. 18b und in einer zweiten Schaltstellung zu Amplitudenkorrekturgliedern 17a bzw. 17b. Die Funktionswechselglieder 16a bzw. 16b dienen zur synchronisierten Ansteuerung der Schalter 20a bzw. 20b, der Amplitudenkorrekturglieder 17a bzw. 17b und der Phasenkorrekturglieder 18a bzw. 18b. Die Funktionsblöcke 21a bzw. 21b dienen zum Durchschalten der von den Amplitudenkorrekturgliedern 17a bzw. 17b vorgegebenen Amplituden-Korrekturwerte  $A_{1K}$  bzw.  $A_{2K}$  und den von den Phasenkorrekturgliedern 18a bzw. 18b vorgegebenen Phasen-Korrekturwerten ( $\varphi_{1K}$  bzw.  $\varphi_{2K}$ ) an eine Zusatzmomentvorgabe 19. Dieser Zusatzmomentvorgabe 19 liegen beim Start der dritten Kompensationsstufe die Phasen- und Amplitudenwerte des Kompensationssinus gemäß zweiter Kompensationsstufe vor. Für die erste Ordnung sind dies  $|\hat{M}_{Zus1}|$  und  $< M_{Zus1}$ , für die zweite Ordnung  $|\hat{M}_{Zus2}|$  und  $< M_{Zus2}$  usw. Diese Phasen- und Amplitudenwerte des Kompensationssinus werden durch Korrekturwerte KW1 (für die erste Ordnung), Korrekturwerte KW2 (für die zweite Ordnung) usw. abgeändert bis die Bundschlagkompensation optimal ist. Für jede Ordnung ist ein eigenes Funktionswechselglied 16a, 16b ... sowie ein eigener Schalter 20a, 20b ... vorhanden.

Zuerst wird durch Änderung der Phase der einzelnen Ordnungen das Minimum bezüglich der geschätzten Amplituden  $\hat{A}_{1S}$ ,  $\hat{A}_{2S}$  gesucht. Nachdem durch Phasenvariation ein vorläufiges Minimum gefunden wurde, wird auf-Minimumsuche durch Änderung der Amplitude umgeschaltet. Nachdem in dieser Betriebsart ein weiteres Minimum gefunden wurde, wird wieder auf Minimumsuche durch Änderung der Phase umgeschaltet usw. Die Umschaltung bewirkt die Funktion "Funktionswechsel" mit den Funktionswechselgliedern 16a, 16b. Sie beinhaltet im wesentlichen die Minimumsuche. In den Funktionen "Phasenkorrektur" bzw. "Amplitudenkorrektur" mit den Phasenkorrekturgliedern 18a, 18b bzw. den Amplitudenkorrekturgliedern 17a, 17b wird die Phase bzw. die Amplitude nach einem vorgegebenen Maß geändert.

Es handelt sich also um eine Echtzeitminimierung (online) mit den geschätzten Amplituden  $\hat{A}_{1S}$ ,  $\hat{A}_{2S}$  als Gütekriterium. Zweck ist es dabei, zu erkennen, ob die geschätzten Amplituden  $\hat{A}_{1S}$ ,  $\hat{A}_{2S}$  während der aktiven Veränderung eines der beiden Korrekturwerte

$$\begin{aligned} < KW1 = \varphi_{1K} \text{ oder } |KW1| = A_{1K} \\ < KW2 = \varphi_{2K} \text{ oder } |KW2| = A_{2K} \end{aligned}$$

eine ansteigende Tendenz, eine abfallende Tendenz oder ein echtes Minimum durchfahren haben. Beim Start des Minimierungsverfahren stehen die Schalter 20a, 20b in der ersten Schaltstellung, d. h. zunächst wird die Phase des Kompensationssinus verändert, während die Amplitude festgehalten wird. Dies ist deswegen sinnvoll, weil die in Fig. 7 analoge Darstellung mit der Amplitude des Kompensationssinus als Abszisse ein um so deutlicheres Minimum aufweist je besser zuvor das Minimum bezüglich der Phase des Kompensationssinus gefunden wurde. Wenn zuvor nicht das Minimum bezüglich Phase gesucht wurde, könnten Fälle auftreten, bei denen die Gütefunktion bezüglich der Amplitude des Kompensationssinus kein Minimum besitzt (bzw. nur ein Randminimum).

Wenn zu Beginn einer Phasen- bzw. Amplitudenkorrektur die Amplituden  $\hat{A}_{1S}$ ,  $\hat{A}_{2S}$  ansteigen, wird das Vorzeichen im Korrekturterm  $\varphi_{1K}$ ,  $\varphi_{2K}$ ,  $A_{1K}$ ,  $A_{2K}$  geändert. Nach Erkennen eines Minimums der Amplituden  $\hat{A}_{1S}$ ,  $\hat{A}_{2S}$  wird zunächst der beim Durchfahren des Minimums eingestellte, abgespeicherte Korrekturwert  $\varphi_{1Kmin}$ ,  $\varphi_{2Kmin}$  bzw.  $A_{1Kmin}$ ,  $A_{2Kmin}$  wieder eingestellt (das Minimum muß erst durchfahren werden, bevor es erkannt wird). Erst anschließend werden die Schalter 20a, 20b in die zweite Schaltstellung umgelegt, wodurch die Korrekturfunktion wechselt. Wenn bisher die Phasenkorrektur aktiv war, wird jetzt die Amplitudenkorrektur aktiv bzw. umgekehrt. Zum schnellen Auffinden des Minimums werden nach Bedarf Schrittweltenoptimierungen durchgeführt.

Die Bundschlagkompensation kann durch eine sich an die dritte Kompensationsstufe anschließende vierte Kompensationsstufe weiter optimiert werden. In Fig. 9 ist eine Übersicht zum Funktionsablauf dieser vierten Kompensationsstufe dargestellt. Der Zugistwert  $F_z$  der Haspelzugstrecke wird einem Hochpaß 22 zugeleitet. Zur Bildung des Gütemaßes (Gütekriteriums) wird das mittelwertfreie Ausgangssignal des Hochpasses 22 mittels eines Quadrierers 23 quadriert. Ein Mittelwertglied 13 (Mittelwertbildner) bildet den Mittelwert. Das Ausgangssignal des Mittelwertgliedes 13 ist das Gütekriterium dieser vierten Kompensationsstufe. Das Gütekriterium wird einem Funktionswechselglied 16 und einem Schalter 20 zugeleitet. Das Funktionswechselglied 16 steuert sowohl den Schalter 20 als auch die Phasenkorrekturglieder 18a, 18b und Amplitudenkorrekturglieder 17a, 17b an. Ausgangsseitig geben die Phasenkorrekturglieder 18a, 18b und die Amplitudenkorrekturglieder 17a, 17b wiederum Phasenkorrekturwerte  $\varphi_{1K}$ ,  $\varphi_{2K}$  und Amplitudenkorrekturwerte  $A_{1K}$ ,  $A_{2K}$  an Funktionsblöcke 21a, 21b, wodurch Korrekturwerte KW1, KW2 für die Phasen und Amplituden des Kompensationssinus für verschiedene Ordnungen für die Zusatzmomentvorgabe 19 gebildet werden, wie dies unter Fig. 8 beschrieben ist.

Der wesentliche Unterschied der vierten Kompensationsstufe gegenüber der dritten Kompensationsstufe ist es, daß bei der vierten Stufe die Korrektur des Kompensationssinus für unterschiedliche Ordnungen nicht gleichzeitig parallel, sondern nacheinander erfolgt. Es müssen also 2 · K Größen nacheinander variiert werden. Entsprechend länger dauert der Optimierungsvorgang. Ein Nachteil der vierten Kompensationsstufe ist deshalb, daß sie weniger schnell als die dritte Kompensationsstufe ist.

Dieser Unterschied wird durch das einzige Funktionswechselglied 16 und den einzigen Schalter 20 dokumentiert, der 2 · K Schaltstellungen hat, für alle Ordnungen "zuständig" ist und der das Gütekriterium nacheinander den einzelnen Phasenkorrekturgliedern und Amplitudenkorrekturgliedern zuleitet, d. h. beispielsweise zuerst zu Phasenkorrekturglied 18a, dann zu Amplitudenkorrekturglied 17a, dann zu Phasenkorrekturglied 18b, dann zu Amplitudenkorrekturglied 17b usw. oder erst zu allen Phasenkorrekturgliedern und anschließend zu allen Amplitudenkorrekturgliedern.

Ein Vorteil der vierten Kompensationsstufe ist es jedoch, daß der durch die Schätzung der Amplitude  $\hat{A}_{1S}$ ,  $\hat{A}_{2S}$  verbleibende Restfehler der dritten Kompensationsstufe vermieden wird.

In den Fig. 10 bzw. 11 ist die Einbindung der selbstregulierenden Bundschlagkompensation in eine Zugregelung bzw. Zugsteuerung der Haspelanlage dargestellt. In Fig. 10 ist eine Haspelanlage mit Haspel 5, Haspelwelle 6, Getriebe 24, Antriebsmotor 7 mit speisendem Stromrichter 11, Drehwinkel/Drehzahlerfassungseinrichtung 8, Umlenkeinrichtung 3 für das aus dem Walzgerüst 1 austretende Band 2 und Zugistwerterfassung 4 zur erkennen. Der Zugistwert  $F_z$  wird einer Vergleichsstelle 12 und der Zugistwertanalyse 15 zugeleitet. Die Vergleichsstelle 12 vergleicht den Zugsollwert  $F_{zs}$  mit dem Zugistwert  $F_z$  und beaufschlagt einen Zugregler 27 dementsprechend. Das Ausgangssignal der Drehwinkel/Drehzahlerfassungseinrichtung 8 wird in einer Drehzahlerfassung 30 in einen Drehzahlwert umgesetzt. Dieser Drehzahlwert wird in einer Vergleichsstelle 32 mit dem Drehzahlsollwert des Zugreglers 27 verglichen. Ein Drehzahlregler 31 wird in Abhängigkeit dieses Drehzahlvergleichs beaufschlagt.

Die Zugistwertanalyse 15 beaufschlagt die Zusatzmomentbildung 29 in der vorstehend ausführlich beschriebenen Art und Weise, wobei die Impulse und insbesondere der Nullimpuls der Drehwinkel/Drehzahlerfassungseinrichtung 8 zur Phasenbildung des Zusatzmoments von Wichtigkeit sind. Das Zusatzmoment  $M_{Zus}$  wird in einer Additionsstelle 33 mit dem Momentsollwert des Drehzahlreglers 31 summiert und das den Stromsollwert darstellende Summensignal der Additionsstelle 33 beaufschlagt einen Stromregler 25. Der Stromregler 25 empfängt den Stromistwert des Antriebsmotors 7 und beaufschlagt den Stromrichter 11 entsprechend dem Stromwertvergleich.

In Fig. 10 ist gestrichelt eine Variante gezeigt, bei der das Zusatzmoment  $M_{Zus}$  der Vergleichsstelle 32 zugeführt wird. Die Additionsstelle 33 entfällt bei dieser Variante.

Bei der in Fig. 11 gezeigten Zugsteuerung der Haspelanlage entfallen Zugregler 27 mit Vergleichsstelle 12 sowie gegebenenfalls Drehzahlregler 31 mit Vergleichsstelle 32 und Drehzahlerfassung 30. Der Momentsollwert  $M$  wird in der Additionsstelle 33 mit dem von der Zusatzmomentbildung 29 in Abhängigkeit der Zugistwertanalyse 15 und der Impulse/Nullimpulse der Drehwinkel/Drehzahlerfassungseinrichtung 8 vorgegebenen Zusatzmoment  $M_{Zus}$  summiert und dem Stromregler 25 als Stromsollwert vorgegeben.

Während eines Stiches ändert sich sowohl die Stör- als auch die Führungsübertragungsfunktion ständig. Außerdem ändert sich mit dem Radius auch der Störeinfluß in qualitativ gleicher Weise über mehrere Bunde.

Aus diesen Gründen muß sowohl die Amplitude als auch die Phase des Kompensationssinus während eines Stiches nachgefahren werden. Diese Aufgabe übernimmt zunächst die beschriebene Optimierung. Um die Optimierung zu entlasten, kann das vorhandene Vorwissen für eine Vorsteuerung genutzt werden. Die Vorsteuerung dient dazu, die präzise Vorgabe des Zusatzmomentes  $M_{\text{Zus}}$  zu erleichtern und die Korrekturzeiten insgesamt zu verkürzen.

Während eines Laufes (z. B. eines Stiches) verändern sich Betrag und Phase der Ordnungen der Auswirkung des Zusatzmomentes auf den Bandzug als Funktion des Trägheitsmomentes  $J$  der Rolle, des Rollenradiuswertes  $r$ , der Kreisfrequenz  $\omega$  der betrachteten Ordnung  $k$  ( $\omega$  bei erster Ordnung,  $2\omega$  bei zweiter Ordnung,  $3\omega$  bei dritter Ordnung usw.), Betrag und Phase der Auswirkung des Bundschlages auf den Bandzug bzw. Betrag und Phase der in einzelne Ordnungen zerlegten Rollenradiusänderungen  $\Delta r$ , während das Trägheitsmoment  $J$ , der Rollenradiuswert  $r$  und die Kreisfrequenz  $\omega$  bekannt und hieraus Vorsteuerfaktoren ableitbar sind, kann für Betrag und Phase der Rollenradiusänderung  $\Delta r$  lediglich eine Grundtendenz ermittelt werden.

Aus einer analytischen Betrachtung der Führungs- und Störübertragungsfunktionen können Beziehungen zur Vorsteuerung der Amplitude und Phase abgeleitet werden. Zur Ermittlung der Vorsteuerungsfaktoren wird die Anlage als Einmassenschwinger betrachtet, bei dem Rollenradiusänderungen  $\Delta r$  als Störgröße Schwankungen des Zugistwertes beeinflussen. Hieraus wird das Verhältnis zwischen dem Betrag der Stör-Übertragungsfunktion zwischen der Rollenradiusänderung und dem Zugistwert einerseits und dem Betrag der Führungs-Übertragungsfunktion zwischen dem Zusatzmoment und dem Zugistwert andererseits gebildet. Hieraus ergeben sich Vorsteuerfaktoren, mit denen die Amplituden des Zusatzmomentes zu bewerten sind. Ein erster Vorsteuerfaktor VF1 realisiert eine Vorsteuerung in Abhängigkeit der Umlaufgeschwindigkeit  $v$  der Rolle (= Bandgeschwindigkeit des auf- bzw. abgewickelten Bandes):

$$VF1 = C1 \cdot \frac{J}{r^2} \cdot v^2$$

mit  $C1$  = Koeffizient.

Ein zweiter Vorsteuerfaktor VF2 realisiert eine Vorsteuerung in Abhängigkeit der Rollendrehzahl  $n$

$$VF2 = C2 \cdot \frac{J}{r^2} \cdot n^2$$

mit  $C2$  = Koeffizient.

Ein dritter Vorsteuerfaktor VF3 realisiert eine Vorsteuerung in Abhängigkeit der Kreisfrequenz  $\omega$

$$VF3 = C3 \cdot \frac{J}{r^2} \cdot \omega^2$$

mit  $C3$  = Koeffizient.

Obige Gleichungen beschreiben den gleichen Sachverhalt. Sie unterscheiden sich nur durch die eingesetzten äquivalenten Größen Bandgeschwindigkeit bzw. Umlaufgeschwindigkeit  $v$ , Rollendrehzahl (Haspeldrehzahl)  $n$  und Kreisfrequenz (Haspelkreisfrequenz)  $\omega$ .

Nachdem zu Beginn des Wickelvorganges mit Hilfe des Optimierungsvorganges die optimale Amplitude (und Phase) des Korrektursinus gefunden ist, wird die Vorsteuerfunktion durch entsprechende Wahl des Koeffizienten  $c_i$  zu Eins gesetzt. Im weiteren Verlauf des Wickelvorganges ändert sich der Vorsteuerfunktionswert als Funktion des Haspelträgheitsmomentes, des Bundradius und der Bandgeschwindigkeit (bzw. eine der beiden äquivalenten Größen  $n$  oder  $\omega$ ). Mit diesem Vorsteuerfunktionswert wird die Amplitude des Korrektursinus bewertet.

Bezüglich der Phase ist bei obiger Annahme (1-Massenschwinger) keine Vorsteuerfunktion notwendig. Neben der vorstehend beschriebenen Anpassung an Veränderungen der Führungs- und Störungsübertragungsfunktion sind zur Optimierung der Vorsteuerung darüber hinaus wie erwähnt Betrag und Phase der Rollenradiusänderung  $\Delta r$  einzubeziehen, d. h. es sind Anpassungen an Veränderungen der Störgröße (Radiusänderung als Funktion des Drehwinkels) während des Stiches zu berücksichtigen. Die Grundtendenz der Rollenradiusänderung (Amplitude und Phase) kann entweder off-line durch Analyse von in Versuchen gemessenen Rollenradiusänderungen als Funktion des Drehwinkels bei verschiedenen Radien oder on-line durch Auswertung von charakteristischen gleichartigen Stellkorrekturen hinsichtlich des Zusatzmomentes während der Einstellung über mehrere Stiche ermittelt werden. Insbesondere kann eine on-line Auswertung der Stellkorrekturen bezüglich Betrag und Phase je Ordnung des Kompensationssinus als Funktion des Radius während der Optimierungsschritte in Stufe 3 bzw. Stufe 4 erfolgen. Wenn über mehrere Wickelvorgänge durch den Optimierungsvorgang im Trend gleichartige Stelleingriffe vorgenommen werden, wird von der Vorsteuerung der Trendwert übernommen.

Da sich die Form der Unrundheit der Rolle in Abhängigkeit vom Rollenradiuswert ändert, ändern sich auch die einzelnen charakteristischen Anteile der Rollenradiusänderung. Qualitativ ist im allgemeinen die Tendenz zu

beobachten, daß sich die Auswirkungen einer Unrundheit mit zunehmendem Rollenradiuswert verringern. Aus dieser Beobachtung läßt sich ableiten, daß sich die Amplitude je Ordnung mit zunehmendem Rollenradiuswert verändert. Zwar ist der Amplitudenverlauf je Ordnung in Abhängigkeit des Rollenradiuswertes bei jeder Rolle unterschiedlich, jedoch lassen sich Grundtendenzen ableiten, abspeichern und für die Vorsteuerung verwenden, was die optimale Einstellung des Zusatzmomentes erleichtert.

Analoge Betrachtungen gelten selbstverständlich für die Phase der Rollenradiusänderung.

Bei den vorstehend erläuterten Ausführungsvarianten wird beispielhaft die erste und zweite Ordnung bei der Zugistwertanalyse herangezogen. Es ist selbstverständlich in gleicher Art und Weise möglich, auch die dritte, vierte usw. Ordnung mit einzubeziehen, wie bereits erwähnt. Andererseits genügt es gegebenenfalls, lediglich die erste Ordnung heranzuziehen. Besonders vorteilhaft ist es, wenn lediglich diejenigen höheren Ordnungen einbezogen werden, die im Bereich der Eigenfrequenz des aus Walzgerüst 1, Band 2, Umlenkeinrichtung 3, Haspel 5, Haspelwelle 6 und Antriebsmotor gebildeten Feder/Dämpfungs-Massensystems liegen, während die weiteren Ordnungen (sowohl höhere als auch niedrigere) unbeachtet bleiben. Hierdurch läßt sich die optimale Wirkung bei reduzierter Rechnerleistung erzielen. Da sich die Eigenfrequenz während des Aufwickel/Abwickelprozesses ändert, ändern sich auch die einzubeziehenden Ordnungen während des Prozesses.

Beim vorstehend behandelten Beispiel einer Bundschlagkompensation bei einer Haspelanlage wird als Zusatzstellgröße das Zusatzmoment  $M_{Zus}$  herangezogen, d. h. eine Veränderung des angreifenden Haspelmomentes. Dabei kann beispielsweise eine Veränderung des Motormomentes selbst erfolgen, was den Vorteil hat, daß keine zusätzlichen Einrichtungen notwendig sind, jedoch den Nachteil mit sich bringt, daß der gleiche Antrieb, der das hohe Drehmoment aufbringt, gleichzeitig die dynamischen Änderungen erzeugen muß. Um diesen Nachteil zu vermeiden, ist es alternativ möglich, ein zusätzliches Aggregat an der Antriebswelle vorzusehen, das zum quasi stationären Drehmoment des Motors ein dynamisch veränderliches Wechselmoment aufbringt. Als zusätzliches Aggregat ist ein Planetengetriebe oder ein hydraulisches Aggregat einsetzbar.

Wenn eine Veränderung des angreifenden Haspelmomentes nicht erfolgen soll, ist es alternativ möglich, mit einer Zusatzstellgröße eine Positionsveränderung der Lagerachse des Haspels durchzuführen, was beispielsweise durch Verdrehung von Exzenterwellen oder durch eine hydraulisch verstellbare Lagerabstützung erfolgen kann.

Eine weitere alternativ zum Zusatzmoment einsetzbare Zusatzstellgröße kann durch Beeinflussung der Anstellung beim Walzen gebildet werden. Dies ist dann sinnvoll, wenn auf der Seite der Störung kein Stelleingriff vorgenommen werden soll. Ein Problem dabei ist, daß die Anstellung gleichzeitig Vor- und Rückzug verändert. Durch die Kompensation auf der ersten Seite (z. B. Vorzug) werden Bandzugstörungen auf der zweiten Seite (z. B. Rückzug) erzeugt. Deshalb müssen die Bandstörungen auf der zweiten Seite — die periodisch mit der Haspeldrehzahl auf der ersten Seite verlaufen — durch eine zusätzliche Stellgröße auf der zweiten Seite bedämpft werden. Dies kann wiederum nach demselben Prinzip der Kompensation wie vorstehend beschrieben erfolgen.

Eine weitere alternativ zum Zusatzmoment einsetzbare Zusatzstellgröße kann durch Beeinflussung der Drehzahl der Walzen gebildet werden. Dabei treten die gleichen Probleme auf wie vorstehend beschrieben.

Eine weitere alternativ zum Zusatzmoment einsetzbare Zusatzstellgröße kann durch Positionsveränderung einer Bandrolle, z. B. einer hydraulisch anstellbaren Tänzerrolle gebildet werden. Ein Problem dabei ist, daß die Anzahl der Rollen, die mit dem Band gekoppelt sind, möglichst gering sein sollte (Bandführung, Bandoberfläche). Die Zugmeßrolle selbst als Tänzerrolle einzusetzen, empfiehlt sich nicht, wenn als Meßgröße der Bandzug verwendet wird, da durch die aktive Verstellung der Zugmeßwert verfälscht wird.

Beim vorstehend behandelten Beispiel einer Bundschlagkompensation bei einer Haspelanlage wird als Meßwert der Zugistwert  $F_z$  (Bandzug) herangezogen. Dies hat den Vorteil einer guten Auflösung. Alternativ kann als Meßistwert die Drehzahl (Rollendrehzahlwert) verwendet werden, denn dynamische Drehzahländerungen sind ein guter Indikator für ungleichmäßigen Rundlauf einer Rolle. Probleme ergeben sich jedoch hierbei bezüglich der Auflösung bei dünnen Bändern.

Des weiteren kann der Bundradius (Rollenradiuswert) als Meßistwert verwendet werden, was jedoch ebenfalls problematisch bezüglich der Auflösung bei dünnen Bändern ist. Schließlich können auch Flatterbewegungen des Bandes zur Bildung des Meßistwertes verwendet werden.

Wenn beim vorstehend erläuterten Ausführungsbeispiel von der Bundschlagkompensation bei einer Haspelanlage für ein Walzgerüst die Rede ist, so bedeutet dies nicht, daß die Erfindung hierauf beschränkt wäre. Das Verfahren zur selbstregulierenden Kompensation des ungleichmäßigen Rundlaufs einer Rolle ist vielmehr auch bei der Aufwicklung/Abwicklung von Papierbändern oder Kunststoffolien mit Erfolg einsetzbar. In diesen Fällen werden das Winkelsignal und das Null-Impuls-Signal von der jeweils die Störung verursachenden Rolle genommen.

Analog zum vorstehend beschriebenen Verfahren der orthogonalen Korrelation ist auch die harmonische Analyse nach Fourier einsetzbar, wie bereits erwähnt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur selbstregulierenden Kompensation der Auswirkung des ungleichmäßigen Rundlaufs einer Rolle durch Approximation eines mit der Rolle verknüpften Meßistwertes mit mindestens einer dreharmonischen Sinusfunktion, deren Argument der Rollendrehwinkel ist, wobei die Sinusapproximation gemäß

$$\phi_{uy}(0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_Z(i \cdot \alpha_0) \cdot \sin(i \cdot \alpha_0)$$

$$\phi_{uy}\left(\frac{\pi}{2}\right) = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_Z(i \cdot \alpha_0) \cdot \cos(i \cdot \alpha_0)$$

nach der orthogonalen Korrelation oder gemäß der harmonischen Analyse nach Fourier erfolgt, mit  
 $\Phi_{uy}$  = Kreuzkorrelation zwischen Eingangsgröße u und Ausgangsgröße y

u =  $\sin(i \cdot \alpha_0)$

y =  $F_Z(i \cdot \alpha_0)$

i = Laufindex

$\alpha_0$  = Winkelschrittweite

N = Anzahl der Meßwerte für eine ganzzahlige Anzahl von Umdrehungen

$F_Z$  = Meßwert,

wobei Schätzwerte für die Amplitude und die Phase des durch den ungleichmäßigen Rundlauf bewirkten Sinussignales gemäß

$$\hat{A}_{1B} = \sqrt{\left[2\phi_{uy}(0)\right]^2 + \left[2\phi_{uy}\left(\frac{\pi}{2}\right)\right]^2}$$

$$\hat{\phi}_{1B} = \arctan \frac{\phi_{uy}\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\phi_{uy}(0)}$$

gebildet werden, mit

$\hat{A}_{1B}$  = Schätzwert für die Amplitude des durch den ungleichmäßigen Rundlauf bewirkten Sinussignal erster Ordnung,

$\hat{\phi}_{1B}$  = Schätzwert für die Phase des durch den ungleichmäßigen Rundlauf bewirkten Sinussignals erster Ordnung,

und wobei eine Zusatzstellgröße ( $M_{Zus1}$ ) aus diesen Schätzwerten proportional zu

$$-\hat{A}_{1B} \cdot \sin(\alpha + \hat{\phi}_{1B})$$

gebildet wird, mit

$\alpha$  = Rollendrehwinkel,

$\alpha = 0$  bei Auftreten eines Nullimpulses.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schätzwerte für die Amplituden und Phasen mit Hilfe des aus einem Rechenmodell abgeleiteten Frequenzganges zwischen Meßwert und Stellgröße in Abhängigkeit der aktuellen Drehzahl bezüglich Betrag und Phase korrigiert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß für eine zweite Kompensationsstufe eine weitere Sinusapproximation nach der orthogonalen Korrelation oder gemäß der harmonischen Analyse nach Fourier erfolgt, mittels der Schätzwerte für die Amplitude ( $\hat{A}_{1S}$ ) und Phase ( $\hat{\phi}_{1S}$ ) des durch den ungleichmäßigen Rundlauf der Rolle und die Zusatzstellgröße bewirkten Sinussignales gebildet werden,

daß aus den durch den ungleichmäßigen Rundlauf bewirkten Schätzwerten für die Amplitude ( $\hat{A}_{1B}$ ) und Phase ( $\hat{\phi}_{1B}$ ) und den durch den ungleichmäßigen Rundlauf und die Zusatzstellgröße bewirkten Schätzwerten für die Amplitude ( $\hat{A}_{1S}$ ) und Phase ( $\hat{\phi}_{1S}$ ) durch die Zusatzstellgröße bewirkte Schätzwerte für die Amplitude ( $\hat{A}_{1M}$ ) und die Phase ( $\hat{\phi}_{1M}$ ) gebildet werden, daß aus den durch die Zusatzstellgröße bewirkten Schätzwerten ( $\hat{A}_{1M}$ ,  $\hat{\phi}_{1M}$ ) die Führungs-Übertragungsfunktion zwischen Zusatzstellgröße und Meßwert an den diskreten Frequenzstellen entsprechender Ordnung ermittelt wird und daß der Betrag der Amplitude der Zusatzstellgröße ( $|M_{Zus1}|$ ) entsprechend dem Betrag der Führungs-Übertragungsfunktion ( $|G_{1M}|$ ) sowie die Phase der Zusatzstellgröße ( $<M_{Zus1}$ ) entsprechend der durch die Zusatzstellgröße bewirkten Phase ( $\hat{\phi}_{1M}$ ) korrigiert werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß für eine dritte Kompensationsstufe der durch den ungleichmäßigen Rundlauf der Rolle und die Zusatzstellgröße bewirkte Schätzwert für die Amplitude ( $\hat{A}_{1S}$ ) als Gütekriterium herangezogen wird und Phase und Amplitude der Zusatzstellgröße schrittweise

verändert werden, bis das Gütekriterium ein Minimum aufweist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß für eine vierte Kompensationsstufe der Meßwert über einen Hochpaßfilter geleitet und das quadrierte und gemittelte Ausgangssignal des Hochpaßfilters als Gütekriterium herangezogen wird und daß Phase und Amplitude der Zusatzstellgröße schrittweise verändert werden, bis das Gütekriterium ein Minimum aufweist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzstellgröße im Augenblick des Nulldurchtritts des Kompensationssinus beaufschlagt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß bei Beaufschlagung der Zusatzstellgröße die Amplitude und/oder Phase bis zum ermittelten Wert kontinuierlich ansteigen.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß neben der drehharmonischen Sinusfunktion erster Ordnung mindestens eine weitere drehharmonische Sinusfunktion höherer Ordnung berücksichtigt wird, deren Argument ein Vielfaches des Rollendrehwinkels beträgt, daß dementsprechend zusätzliche Schätzwerte für die Phase und Amplitude höherer Ordnung gebildet werden und daß sich die Zusatzstellgröße aus mehreren dementsprechend gebildeten Kompensationssinusfunktionen zusammensetzt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß lediglich diejenigen höheren Ordnungen einbezogen werden, die im Bereich der niedrigsten Eigenfrequenz des betrachteten Feder/Dämpfungs-Massensystems liegen.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzstellgröße mit einem Vorsteuerfaktor VF1 entsprechend

$$VF1 = C_1 \cdot \frac{J}{r^4} \cdot v^2$$

bewertet wird, mit

J = Trägheitsmoment der Rolle

v = Umlaufgeschwindigkeit der Rolle

C<sub>1</sub> = Koeffizient.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzstellgröße mit einem Vorsteuerfaktor VF2 entsprechend

$$VF2 = C_2 \cdot \frac{J}{r^2} \cdot n^2$$

bewertet wird, mit

n = Rollendrehzahl

C<sub>2</sub> = Koeffizient.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzstellgröße mit einem Vorsteuerfaktor VF3 entsprechend

$$VF3 = C_3 \cdot \frac{J}{r^2} \cdot \omega^2$$

bewertet wird, mit

ω = Kreisfrequenz

C<sub>3</sub> = Koeffizient.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundtendenz der Rollenradiusänderung (Δr) off-line durch Analyse von in Versuchen gemessenen Rollenradiusänderungen ermittelt und in die Vorsteuerung einbezogen wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundtendenz der Rollenradiusänderung (Δr) on-line durch Auswertung von charakteristischen Stellkorrekturen hinsichtlich der Zusatzstellgröße über mehrere Läufe ermittelt und in die Vorsteuerung einbezogen wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß als Meßwert der Zugistwert des durch die Rolle zu wickelnden Materials herangezogen wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß als Meßwert der Rollendrehzahlwert herangezogen wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß als Meßwert der Rollenradiuswert herangezogen wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß als Meßwert Flatterbewegungen des mittels der Rolle zu wickelnden Materials herangezogen werden.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß als Zusatzstellgröße ein Zusatzmoment gebildet und der Momentsollwert für die Rolle mit diesem Zusatzmoment beaufschlagt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Motormoment für die Rolle durch das Zusatzmoment direkt beeinflußt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Motormoment für die Rolle indirekt über ein zusätzliches Aggregat an der Antriebswelle der Rolle, beispielsweise über ein Planetengetriebe oder ein hydraulisches Aggregat, beeinflußt wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß als Zusatzstellgröße ein Signal zur Positionsveränderung der Lagerachse der Rolle gebildet wird, wobei die Positionsveränderung beispielsweise durch Verdrehung von Exzenterwellen oder durch hydraulisch verstellbare Lagerabstützung erfolgt.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß als Zusatzstellgröße ein Signal zur Beeinflussung der Einstellung beim Walzen des durch die Rolle zu wickelnden Materials gebildet wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß als Zusatzstellgröße ein Signal zur Beeinflussung der Drehzahlen der Walzen gebildet wird, welche zum Walzen des durch die Rolle zu wickelnden Materials dienen.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß als Zusatzstellgröße ein Signal zur Positionsveränderung einer Bandrolle, beispielsweise einer Tänzerrolle, gebildet wird, welche die Bandführung beeinflussen.

---

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig.1

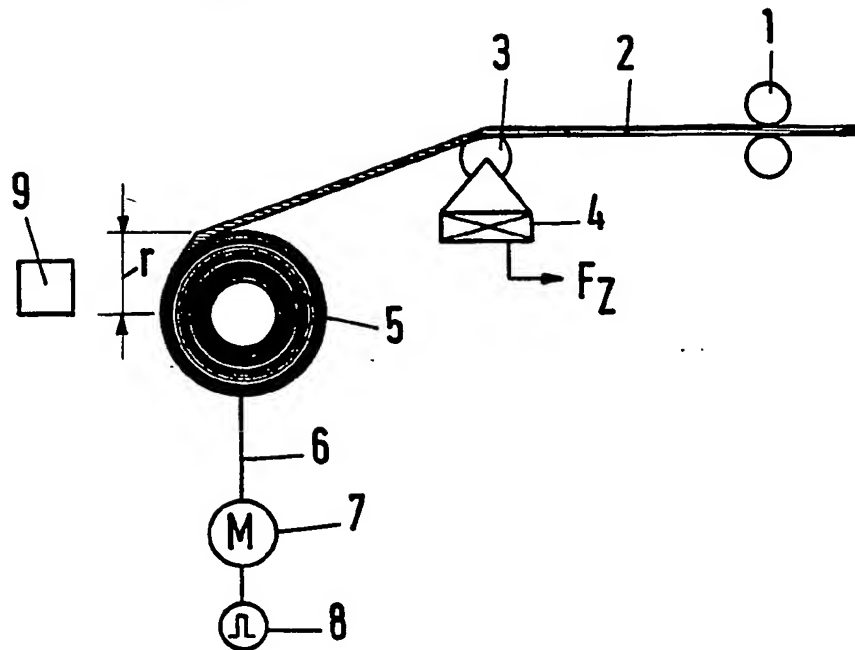
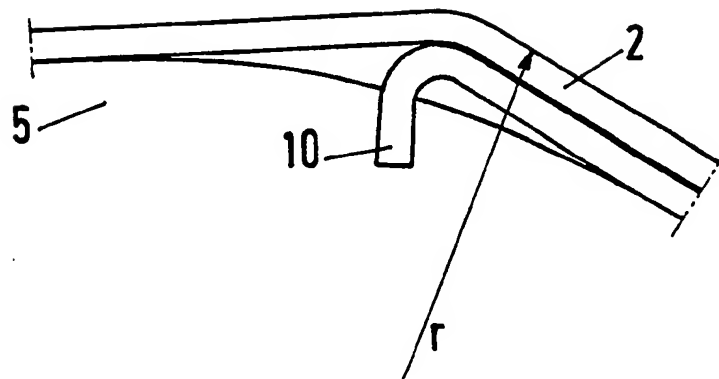


Fig.2





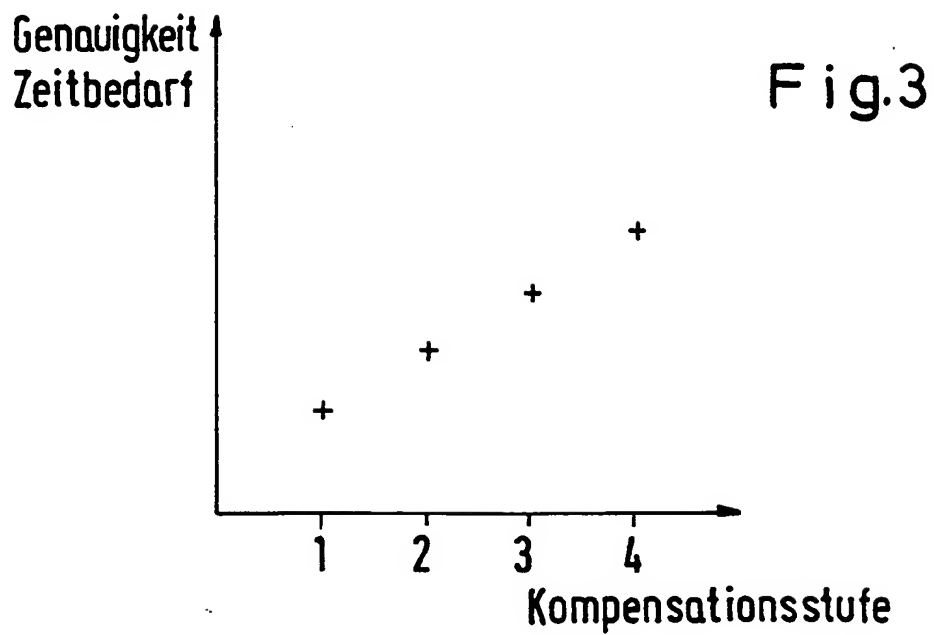


Fig.5

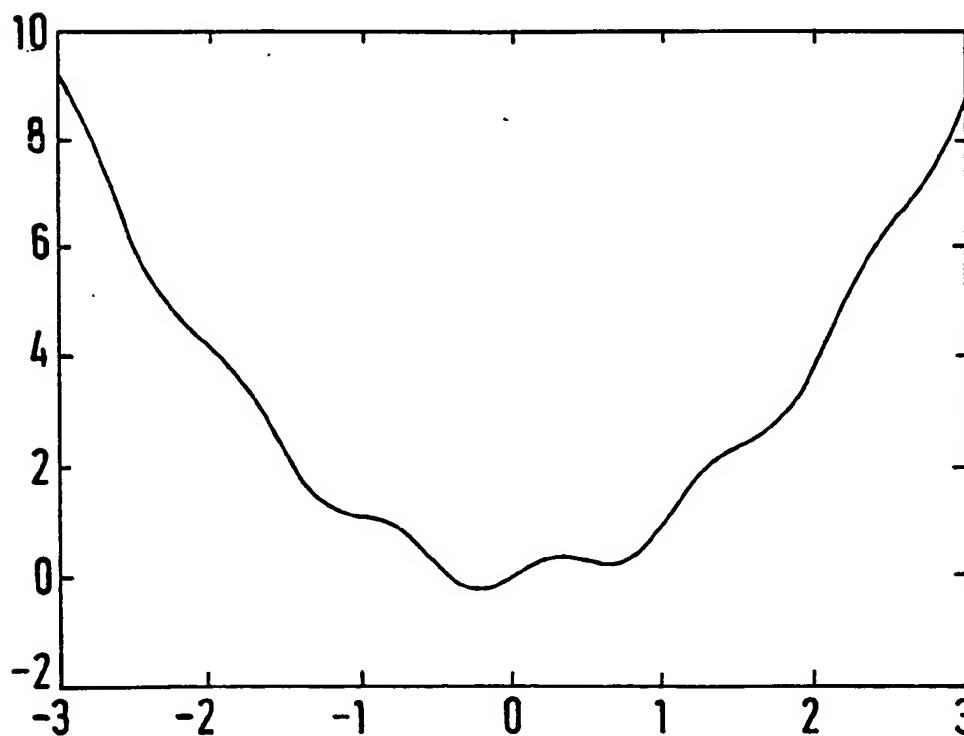


Fig.6

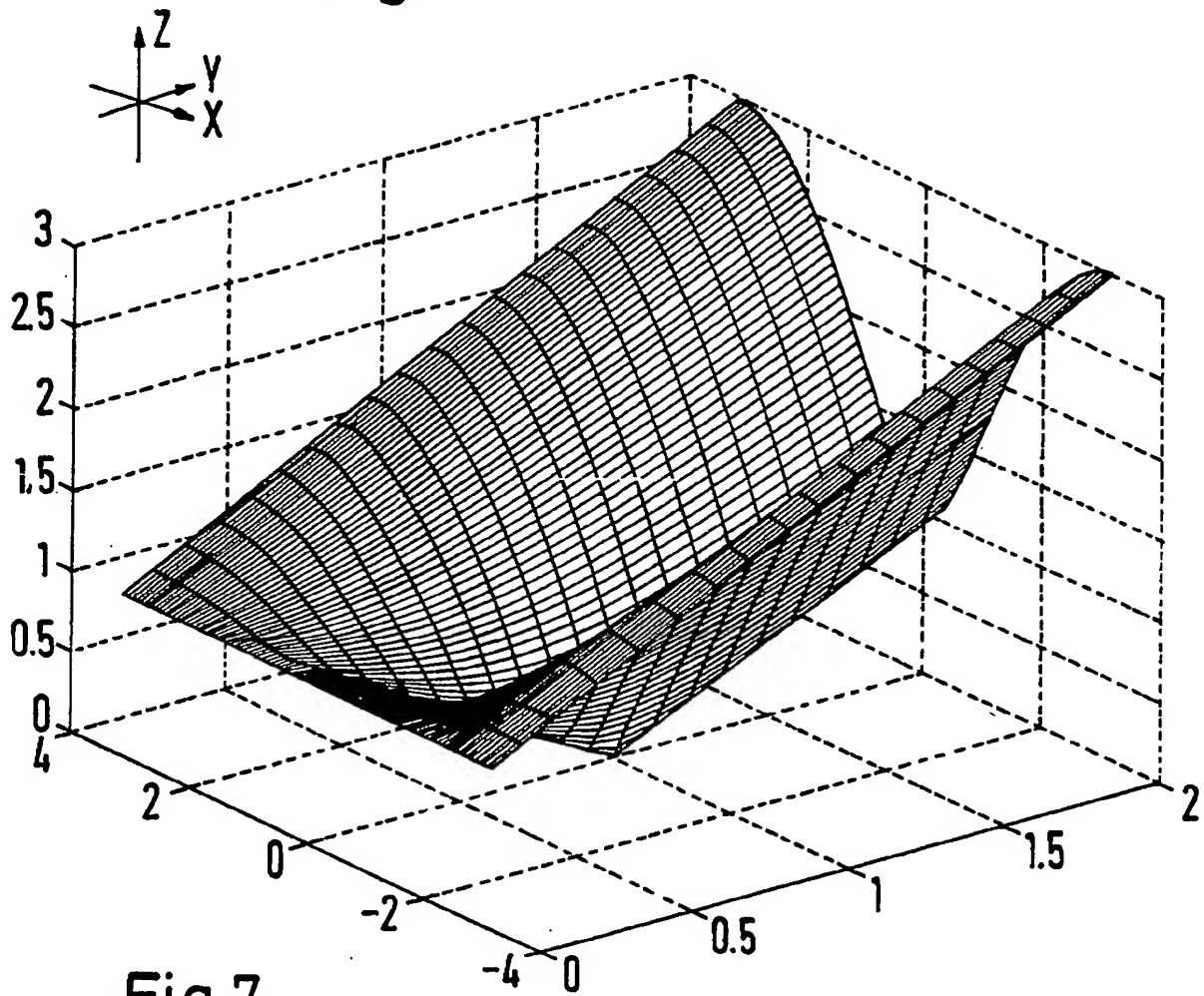


Fig.7

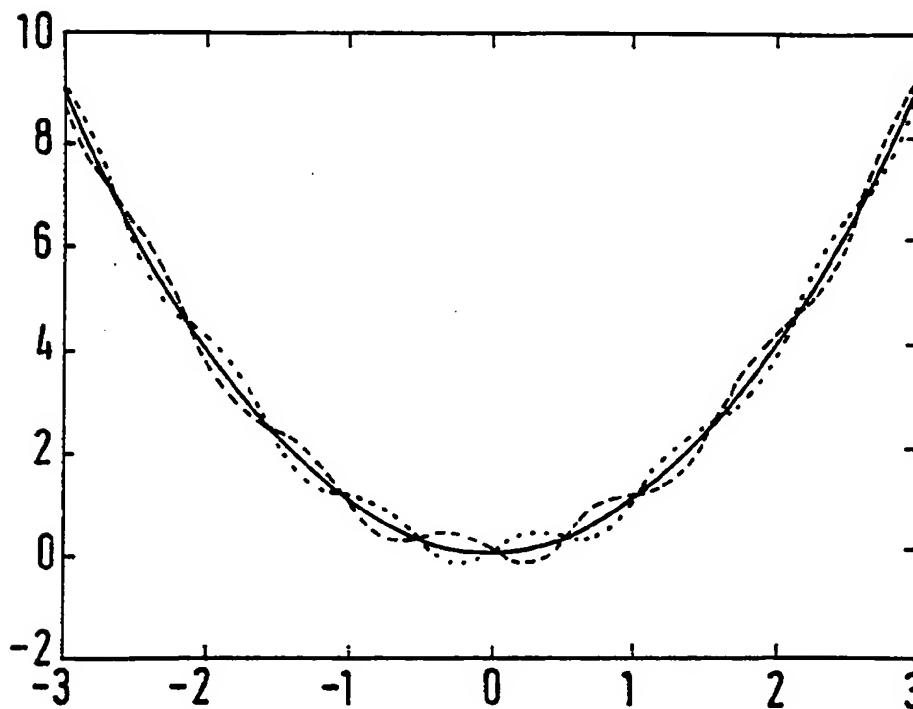


Fig. 8

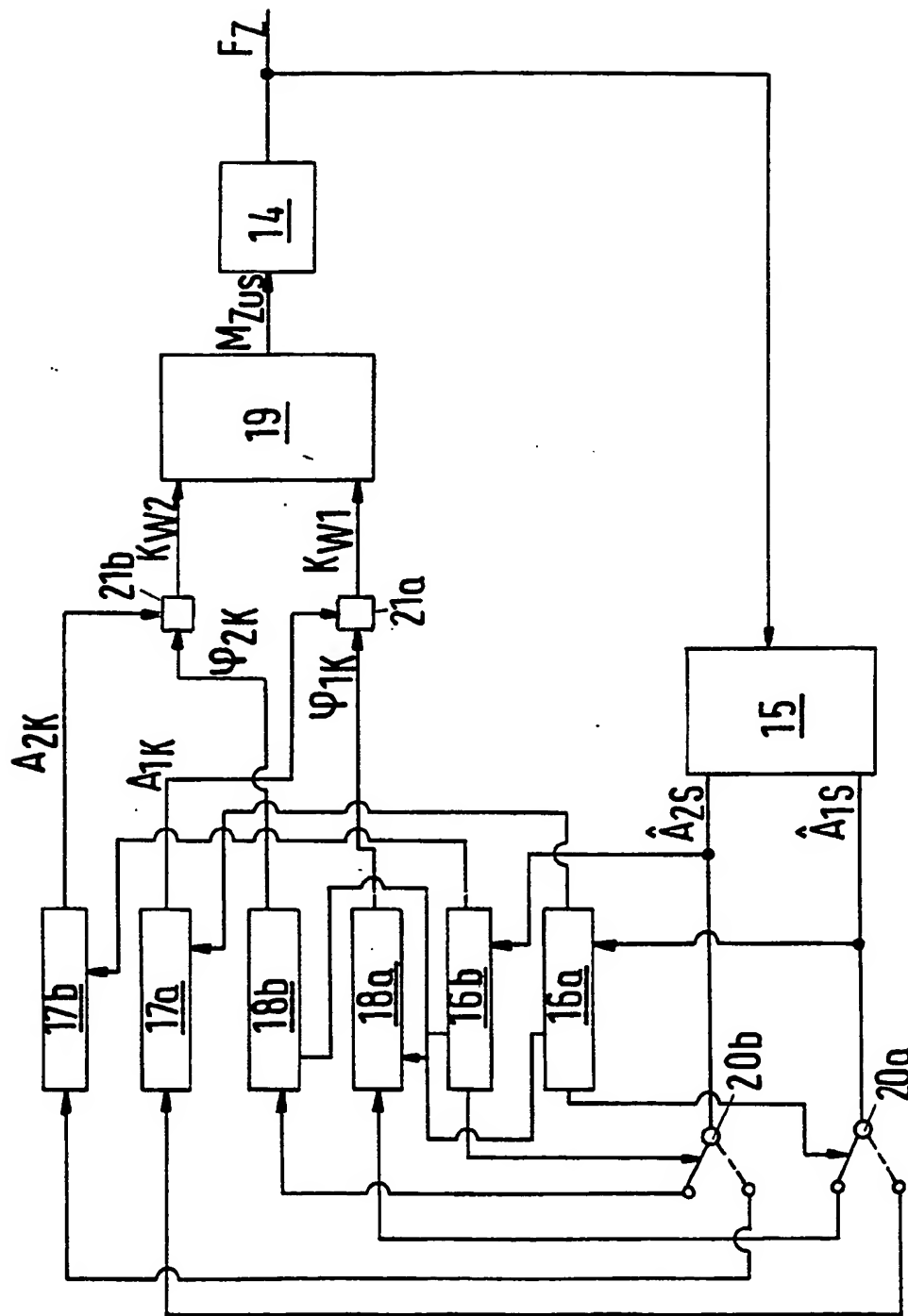
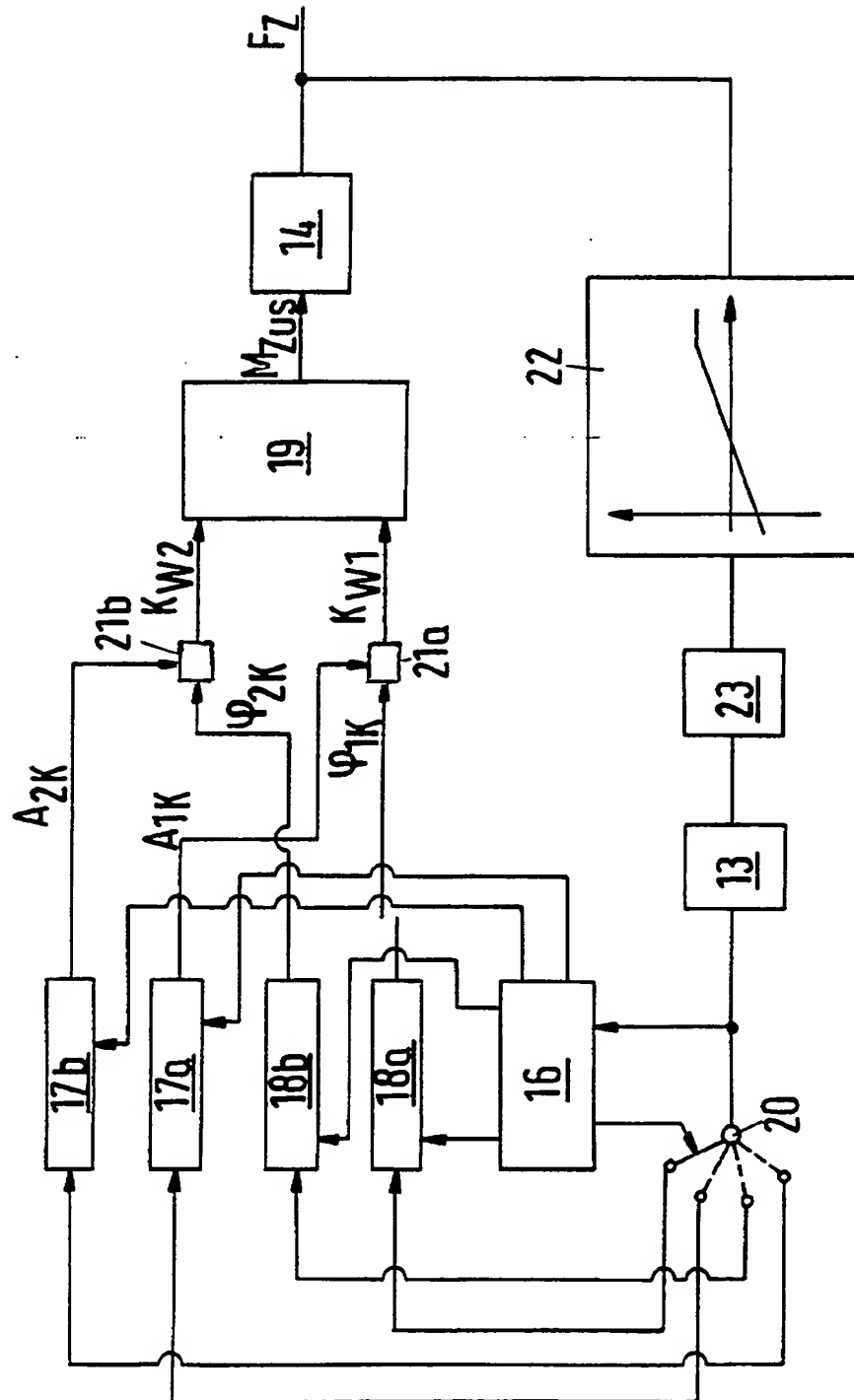


Fig.9



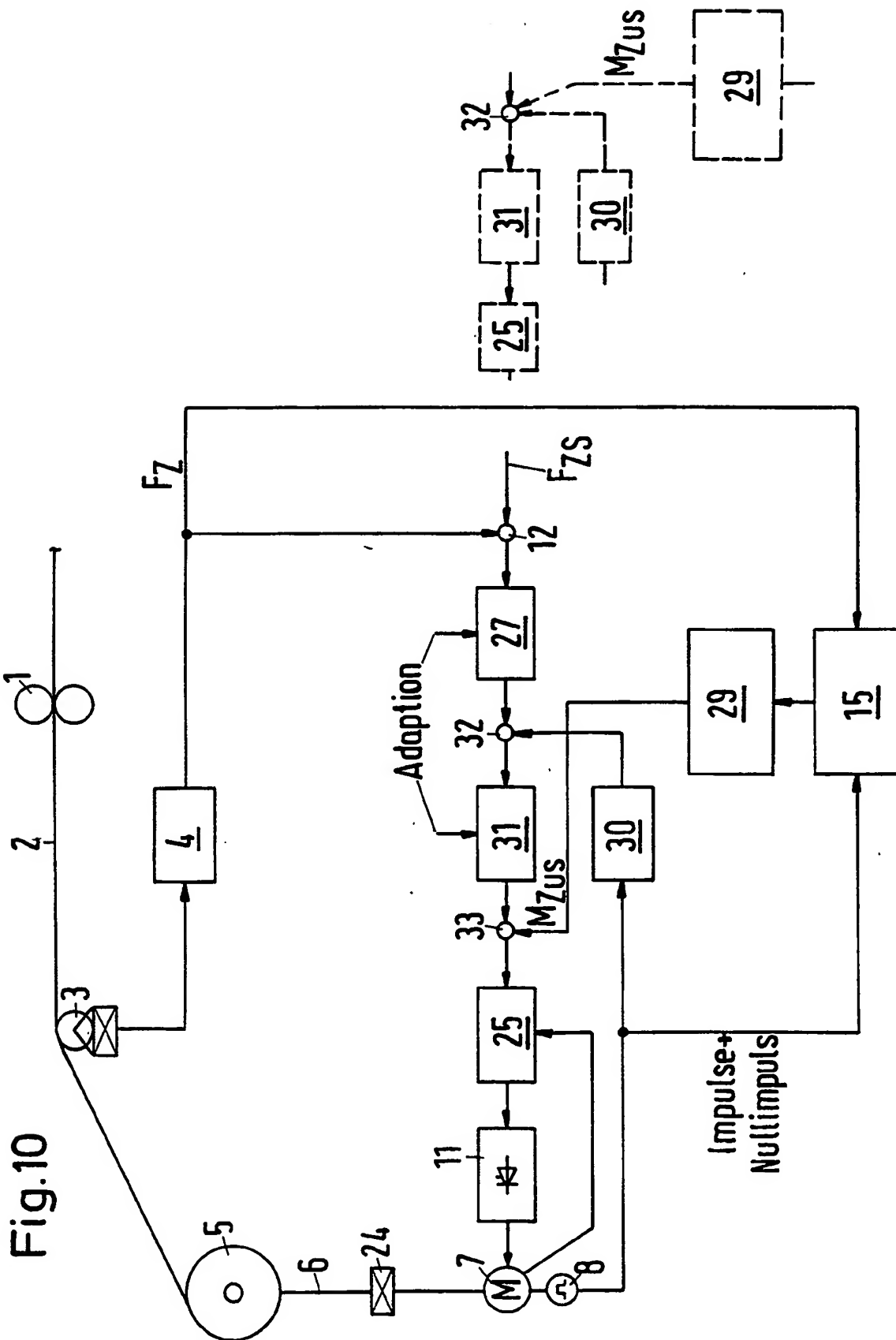
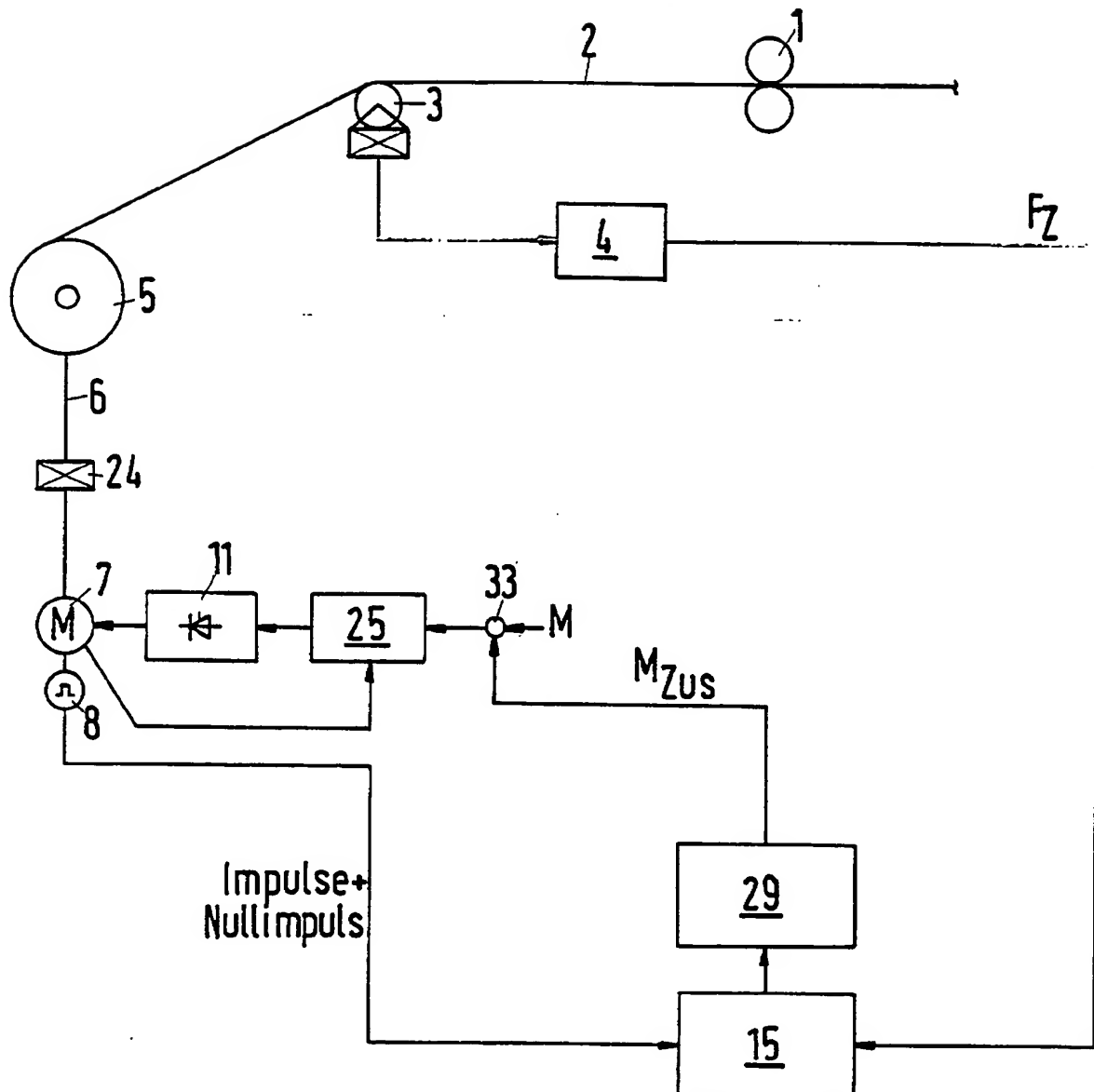


Fig.11



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**